



## **ANÁLISE DOS CAMPOS DE VENTO ESTIMADOS A PARTIR DE SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS UTILIZANDO OS CANAIS VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO NO CPTEC/INPE.**

Nathalia Dias Moises (Unisal, Lorena, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [nathalia.dias@cptec.inpe.br](mailto:nathalia.dias@cptec.inpe.br)

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)

ORIENTADOR  
Renato Galante Negri (DSA/CPTEC/INPE)

Julho de 2016



Ministério da  
**Ciência e Tecnologia**



RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO PROGRAMA:  
PIBIC/ INPE – CNPq

**PROJETO**  
**ANÁLISE DOS CAMPOS DE VENTO ESTIMADOS A PARTIR DE**  
**SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS UTILIZANDO OS CANAIS**  
**VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO NO CPTEC/INPE.**

Processo: 103862/2016-1

Relatório elaborado por Nathália Dias Moises referente ao período de  
março de 2016 a junho de 2016

Nathalia Dias Moises – Bolsista PIBIC/CNPq  
E-mail: [nathalia.dias@cptec.inpe.br](mailto:nathalia.dias@cptec.inpe.br)  
Renato Galante Negri – Orientador  
DSA/CPTEC/INPE

julho 2016

## **Agradecimentos**

Agradecer primeiramente a Deus por essa oportunidade em minha vida. Ao meu orientador Renato Galante Negri pela orientação, apoio e confiança, pelas suas correções e incentivo para a realização deste trabalho. Agradecer também à minha família que foi de extrema importância me proporcionando sempre muita força e apoio. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, e pelo ambiente criativo e amigável que proporciona, o meu muito obrigado.

Draft

# **ANÁLISE DOS CAMPOS DE VENTO ESTIMADOS A PARTIR DE SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS UTILIZANDO OS CANAIS VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO NO CPTEC/INPE.**

Nathalia Dias Moises<sup>1</sup> (UNISAL – Lorena, Bolsista PIBIC, CNPq)  
Renato Galante Negri<sup>2</sup> (DSA/CPTEC/INPE, Orientador)

## **RESUMO**

O presente trabalho foi iniciado em março de 2016 e teve como objetivo principal é auxiliar o CPTEC/INPE em compreender qual é o impacto dos campos de vento no processo de assimilação e também visa identificar possíveis erros nos algoritmos para futuramente serem corrigidos. Os campos de vento, que são gerados no CPTEC a partir de imagens de satélite, foram comparando inicialmente à radiossondagens para, posteriormente, serem comparados à re-análises de NCEP. As análises foram realizadas utilizando o software de manipulação de dados meteorológicos *Grid Analysis and Display System* (GrADS), e envolveu o uso e desenvolvimento de programas em *Fortran, Python e shell scripts*.

## ABSTRACT

This work started in March 2016, the main objective is to assist the CPTEC / INPE to understand what is the impact of wind fields in the process of assimilation and also aims to identify possible errors in the algorithms to eventually be corrected by analyzing the fields wind related to low levels, which are generated at CPTEC from satellite images, compared with re-analysis NCEP and radiosondes, thus applying possible improvements, the analysis will be performed using the manipulation software meteorological data and Grid analysis Display System (GrADS), and will involve the development of programs in Python and shell scripts. This work also consists of preparing a scientific paper to be submitted in magazine specialized in meteorology area or environment and presentation of results the Brazilian Meteorological Congress.

Draft

## 1. Introdução

O vento, que nada mais é que o movimento das massas de ar, é classificado de acordo com sua intensidade e direção. Conhecer a direção e a velocidade do vento em diferentes níveis da atmosfera é importante para serem utilizados em modelos de previsão de tempo bem como na previsão operacional do tempo. A extração das componentes do vento a partir de imagens de satélites teve início na segunda metade da década de 70. Leese et al. (1971). A estimativa do vento por satélite é baseada no rastreamento de nuvens que estão presentes em imagens de satélite de uma mesma região. A partir da determinação do deslocamento dessas nuvens, presentes nessas imagens, é determinado a sua trajetória, e conseqüentemente, a direção e a velocidade do vento. A estimativa do vento a partir de imagens de satélites teve início no final da década de 60 e na primeira metade dos anos 70 (Fujita et al., 1969; Whitney e Hubert, 1971). Para isso, é suposto que as nuvens se deslocam devido a atividade dos ventos. Inicialmente, o rastreamento das nuvens e a determinação de suas trajetórias era feito manualmente e utilizava imagens de satélite dos canais infravermelhos. Com o passar dos anos, a estimativa do vento via satélites geoestacionários se tornou um produto importante, particularmente para a assimilação de dados para modelos de previsão numérica do tempo (e.g., Radford 1989; Thoss 1992).

O modelo que foi desenvolvido no CPTEC/INPE para a extração dos ventos em diferentes níveis da troposfera é baseado no rastreamento das nuvens que estão presentes nas imagens dos canais visível, infravermelho próximo, vapor d'água e infravermelho janelado satélite GOES. As imagens do canal visível são utilizadas para fazer a extração do vento no período diurno e as imagens do canal infravermelho são usadas para o período noturno. O vento obtidos pelo canal infravermelho conta com uma rotina para a correção das nuvens semitransparentes. Detalhes do modelo de correção de nuvens semi-transparentes podem ser encontrados no trabalho de Laurent et al. (2002).

Atualmente a Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) possuem um modelo de extração de vento operacional utilizando imagens do satélite da série GOES, desenvolvido inicialmente por Laurent et al. (2002), que utilizava apenas imagens dos canais IR e WV. Posteriormente, esse modelo foi adaptado para o uso das imagens dos canais visível e infravermelho próximo (3.9  $\mu\text{m}$ ) (Negri e Machado, 2008). As imagens do canal visível possui uma resolução maior, com isso faz com que estruturas menores sejam detectadas, deste modo o deslocamento das nuvens, direção e a velocidade dos ventos são determinados com maior eficácia. Ainda utilizando imagens de infravermelho é possível realizar uma boa estimativa dos níveis médios e altos, mas não eficaz em estimar em baixos níveis, pelo fato da diferença entre o topo das nuvens baixas e a temperatura.

Para estimar o vento em baixos níveis, durante o período noturno, o uso das imagens do canal infravermelho próximo (3,9 $\mu\text{m}$ ) é uma boa opção, pois possibilita a detecção das nuvens baixas com mais precisão que o canal infravermelho (Thomas et al., 1997). No Brasil, somente o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) possui modelos de estimativas de vento que utilizam imagens do canal infravermelho janela e do canal de vapor d'água. Laurent e Machado

(1994), Machado et al. (1998), Laurent et al. (2002) descrevem os detalhes dos modelos em uso operacional no CPTEC. Essas imagens são da família de satélites geoestacionários GOES que começaram a ser disponibilizados operacionalmente pela (DSA/CPTEC) que são ferramentas de grande importância na geração de produtos e observação para a assimilação em modelos de circulação total da atmosfera. **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho foi analisar estatisticamente os campos de vento, gerados operacionalmente no CPTEC/INPE a partir de sequências de imagens dos canais visível, infravermelho próximo, vapor d'água e infravermelho janela do satélite geoestacionário GOES-13. A análise foi feita a partir da comparação entre os campos de vento e dados provenientes de radiossondagens, A presente proposta buscou auxiliar o CPTEC/INPE em entender melhor qual é o impacto do uso desses campos de vento no processo de assimilação bem como identificar possíveis erros presentes nesses algoritmos que deverão corrigidos futuramente.

### **2.2 Objetivos específicos**

O CPTEC/INPE possui um conjunto de algoritmos automáticos para a estimativa do vento utilizando dados provenientes de satélites geoestacionários. Tais algoritmos mantidos operacionalmente desde 2002 e sua principal aplicação é na assimilação de dados em modelos numéricos de previsão de tempo.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Verificar a existência de erros sistemáticos na determinação da altura dos vetores e quantificá-los;
- Analisar o impacto deste tipo de dado no modelo global do CPTEC através da comparação entre rodadas de controle e rodadas utilizando tais dados no processo de assimilação de dados.

## **3. Revisão Bibliográfica**

Esta seção apresenta a revisão bibliográfica sobre o assunto proposto para o projeto de iniciação científica.

### **3.1 Espectro eletromagnético**

O espectro eletromagnético é a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda ou frequência. De forma geral, é definido como sendo o intervalo que contém todas as radiações eletromagnéticas que vai desde as ondas de rádio até os raios gama. Neste trabalho canais localizados nas porções do visível e infravermelho térmico serão usados.

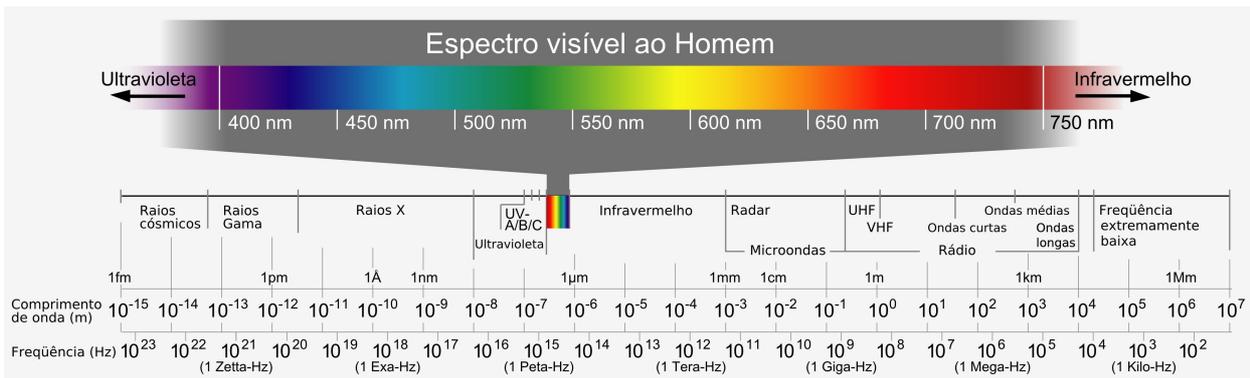


Figura 1: O espectro eletromagnético

O quadro representa os valores aproximados em comprimento de onda, frequência e energia para regiões selecionadas do espectro eletromagnético.

| Região         | Comp. Onda (Angstroms) | Comp. Onda (centímetros)              | Frequência (Hz)                           | Energia (eV)     |
|----------------|------------------------|---------------------------------------|---|------------------|
| Rádio          | $> 10^9$               | $> 10$                                | $< 3 \times 10^9$                         | $< 10^{-5}$      |
| Micro-ondas    | $10^9 - 10^6$          | $10 - 0.01$                           | $3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$        | $10^{-5} - 0.01$ |
| Infra-vermelho | $10^6 - 7000$          | $0.01 - 7 \times 10^{-5}$             | $3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$   | $0.01 - 2$       |
| Visível        | $7000 - 4000$          | $7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$ | $4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$ | $2 - 3$          |
| Ultravioleta   | $4000 - 10$            | $4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$          | $7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$   | $3 - 10^3$       |
| Raios-X        | $10 - 0.1$             | $10^{-7} - 10^{-9}$                   | $3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$     | $10^3 - 10^5$    |
| Raios Gama     | $< 0.1$                | $< 10^{-9}$                           | $> 3 \times 10^{19}$                      | $> 10^5$         |

Tabela 1: Regiões do espectro eletromagnético

### 3.2 O sensor GOES-Imager

O sensor *GOES-Imager* é um dispositivo multi-canal, feito para identificar a energia radiante e solar que são refletidas nas áreas amostradas na terra. A Figura 2 mostra esquematicamente o instrumento *GOES-Imager*. Os canais são elementos múltiplos para fazer uma varredura simultaneamente de leste-oeste e oeste-leste em todo o caminho de norte a sul. O sistema de varredura é composto por um espelho de dois eixos responsável pela definição da área amostrada. Este dispositivo pode produzir imagens de aproximadamente todo um hemisfério (*full disk*), e também vários setores menores, permite a visualização contínua rápida de áreas locais para a monitorização dos fenômenos de mesoescala (regionais) e estimativas de vento precisas.

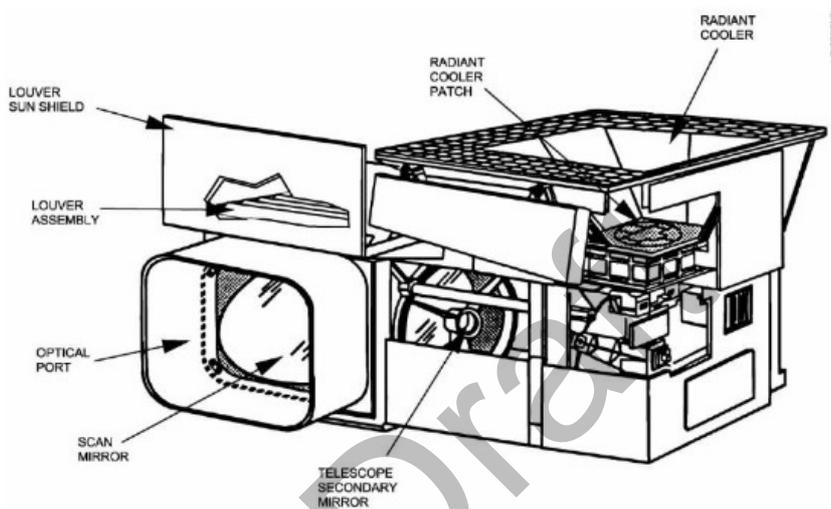


Figura 2: O imageador GOES-Imager.

O sensor GOES-Imagens a bordo do satélites GOES-13 possui 5 canais espectrais nas porções do visível e do infravermelho térmico. A Tabela 2 apresenta estes canais e algumas aplicações típicas. As funções resposta dos canais à bordo do satélite GOES-13 são apresentadas na Figura 3.

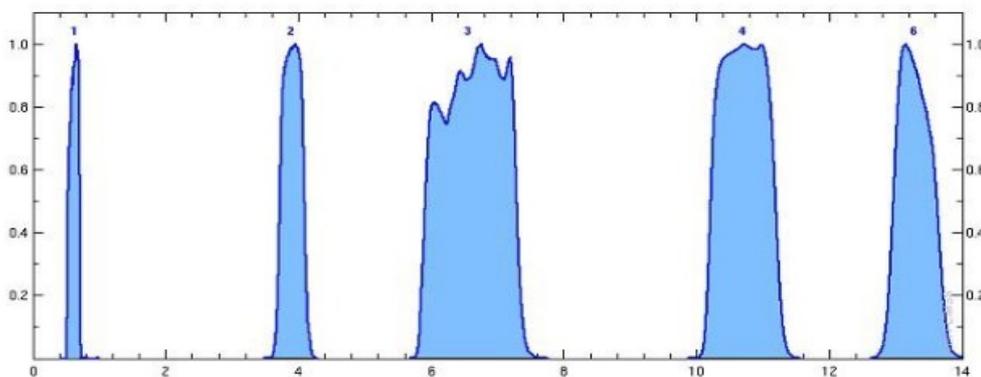


Figura 3: Funções resposta dos canais do sensor GOES-Imager

| Canal               | 1    | 2*  | 3*  | 4  | 5* |
|---------------------|------|-----|-----|----|----|
| Comprimento de onda | 0,65 | 3,9 | 6,7 | 11 | 12 |
| Produto             |      |     |     |    |    |
| Nuvens              | x    | x   | x   | x  | x  |
| Vapor de água       |      |     | x   | x  | x  |
| Tem. Superfície     |      | o   |     | x  | o  |
| Ventos              | x    |     | x   | x  |    |
| Albedo + flux IR    | x    |     | o   | x  | o  |
| Fumaça de queimadas | x    | x   |     | o  | o  |

Tabela 2: Canais espectrais do sensor GOES-Imager e suas aplicações típicas

Chave: \* = novos dados de canal

x = canal principal

o = canal secundário

### 3.3 Modelo de estimativa do vento

No CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), são estimados vento a partir de satélites, mais especificamente satélites geoestacionários. As nuvens se deslocam devido a ação significativa dos ventos, e com isso a direção e a velocidade são de grande importância para estimar esse deslocamento das nuvens que estão presentes nas imagens por satélite.

O CPTEC/INPE tem o intuito para a estimar o vento é com isso, fornecer as informações sobre a circulação atmosférica que é movimentação das massas de ar, em meso e grande escala, Essa movimentação ocorre na Troposfera, a camada da atmosfera mais próxima da Terra. Com uma grande cobertura espacial (~80 a 100 km). Sobre a superfície oceanos é praticamente impossível obter informação alguma sobre vento, no hemisfério sul a área oceânica é superior as áreas continentais, quando comparadas ao hemisfério norte. Portanto os dados referentes ao vento, obtidos a partir de estações convencionais, são mais escassos. Inicialização de modelos numéricos de previsão de tempo. Melhora a previsão do deslocamento de várias outras formas de ciclones extra-tropicais, que normalmente, os ciclones tropicais se formam quando um centro de baixa pressão, viajando sobre oceanos tropicais encontradas nas águas com temperaturas amenas.

Os nomes dos ventos mais utilizados são AMV (*Atmospheric Motion Vectors*), *Cloud drift winds*, *Cloud motion vectos*, *Satellite winds*, *Satwinds*, *Cloud track winds*, *Cloud motion winds*, *Feature track winds* e etc. Neste presente trabalho vão ser chamados de AMV (*Atmospheric Motion Vectors*), são utilizados para descrever o escoamento na escala sinótica nos esquemas de assimilação de dados, o que torna necessário obter AMV com maior resolução espacial.

Existem várias etapas típicas no processo de estimativa de AMVs. No processamento das imagens por satélites, é feita uma retificação de imagens que é de extrema importância, principalmente para as imagens de canal visível devido a dependência do ângulo de iluminação que varia durante todo o dia, a utilização do canal visível mostrou um grande avanço na estimativa do vento. Fazer a definição dos alvos mais úteis para o rastreamento com regiões que contenham nuvens ou um gradiente de vapor com contraste suficiente para o rastreamento, a técnica de rastreamento automático de nuvens foi realizada inicialmente utilizando o método das correlações cruzadas proposto por Leese et al. (1971).

Essa técnica descarta o rastreamento individual de nuvens devido à complexidade dessa tarefa mesmo em se contando com um computador potente. Determinar uma posição específica dos alvos escolhidos na imagem seguinte, e cada alvo na imagem inicial, é feito um rastreamento nas imagens sucessivas para determinar o deslocamento. Um padrão de um intervalo de até 30 minutos as nuvens podem alterar a forma excessivamente ou até desaparecer, mas os alvos são suficientes geralmente permanecem para produção de AMVs, intervalos mais curtos, 15 minutos por exemplo, esse problema é menor e mais AMVs são produzidos, o campo era mais preciso, e se tinha uma melhora na estimativa.

É necessário que os resultados obtidos através dos cálculos dos vetores, considerando o deslocamento geográfico da posição e direção, e o intervalo do tempo das imagens. Definição da altura do AMV estimada é extremamente necessária para a estimativa de vento e também a maior fonte de erro nesse dado. Logo após de todos os cálculos dos vetores de vento, o resultado alcançado passa por um controle de qualidade que são constituídos por alguns testes que analisam o nível de confiabilidade composto por cada vetor.

Abaixo são apresentados alguns exemplos dos campos de vento estimados a partir do uso dos canais visível (Figura 4), infravermelho próximo (Figura 5), vapor d'água (Figura 6) e infravermelho janela (Figura 7). Os canais visível e infravermelho próximo são utilizados apenas para a estimativa do vento nos baixos níveis, o canal do vapor d'água é empregado na estimativa do vento nos altos níveis e níveis médio e com o canal infravermelho janela é possível estimar o vento em todos os níveis da troposfera.

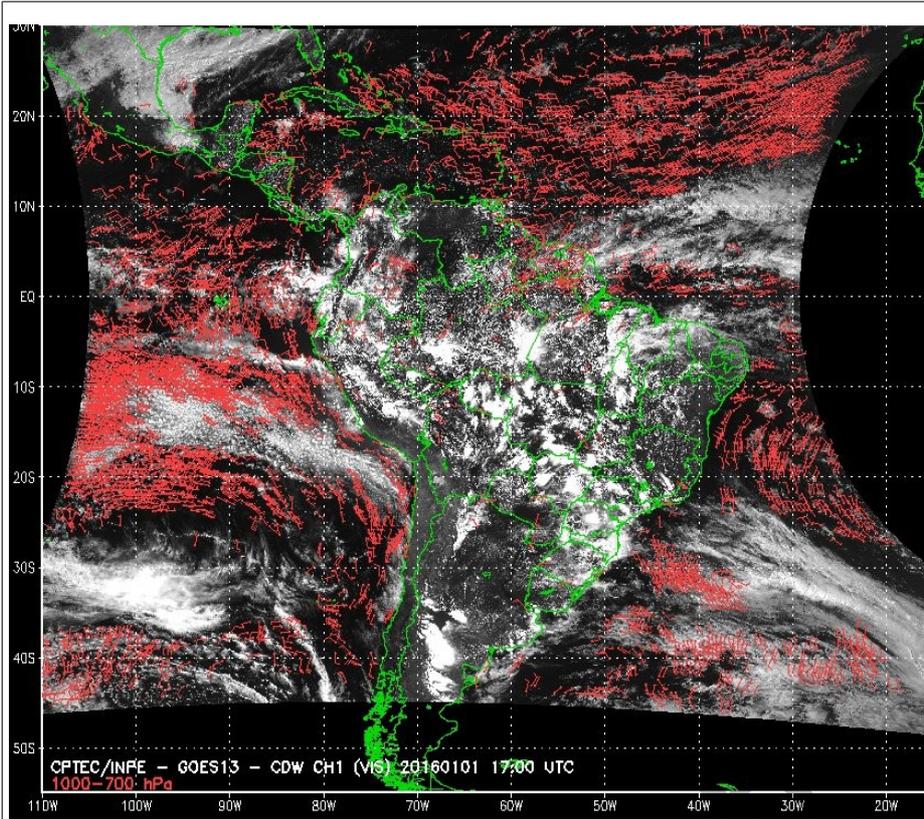


Figura 4: Exemplo de um campo de vento obtido a partir do canal visível do satélite GOES-13

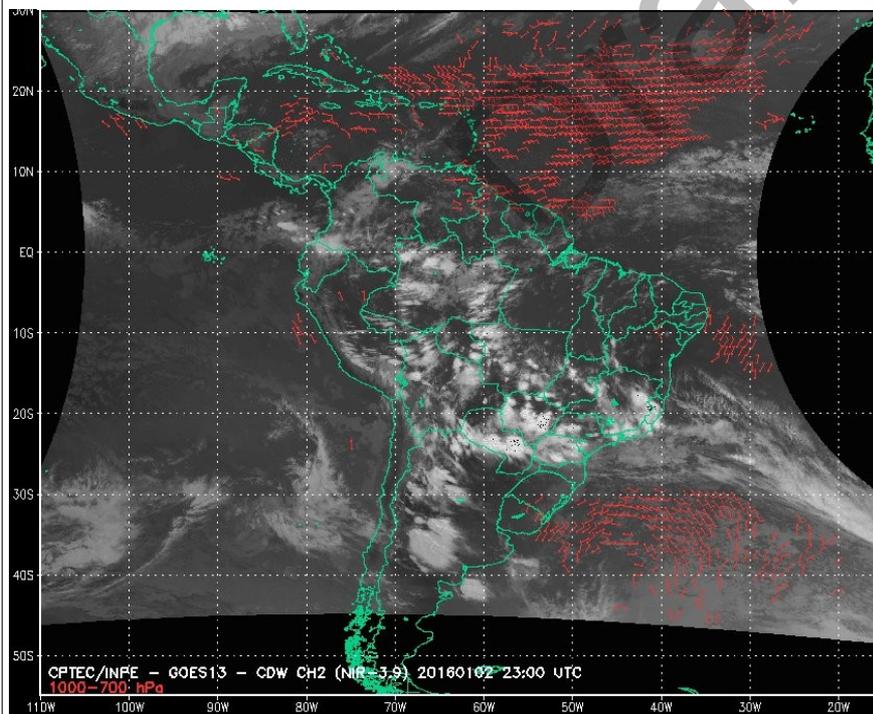


Figura 5: Exemplo de um campo de vento obtido a partir do canal 3.9 μm (infravermelho próximo) do satélite GOES-13

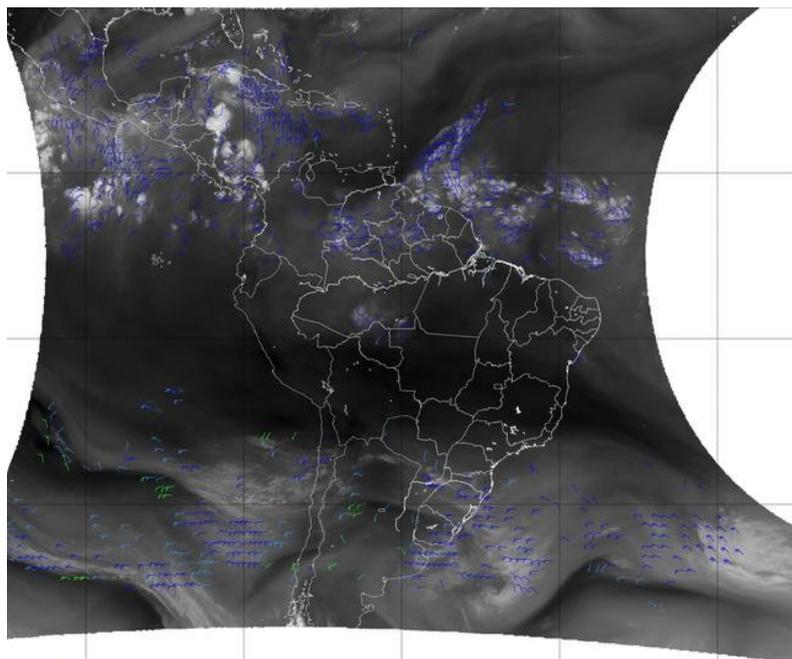


Figura 6: Exemplo de um campo de vento obtido a partir do canal  $6.7 \mu\text{m}$  (vapor d'água) do satélite GOES-13

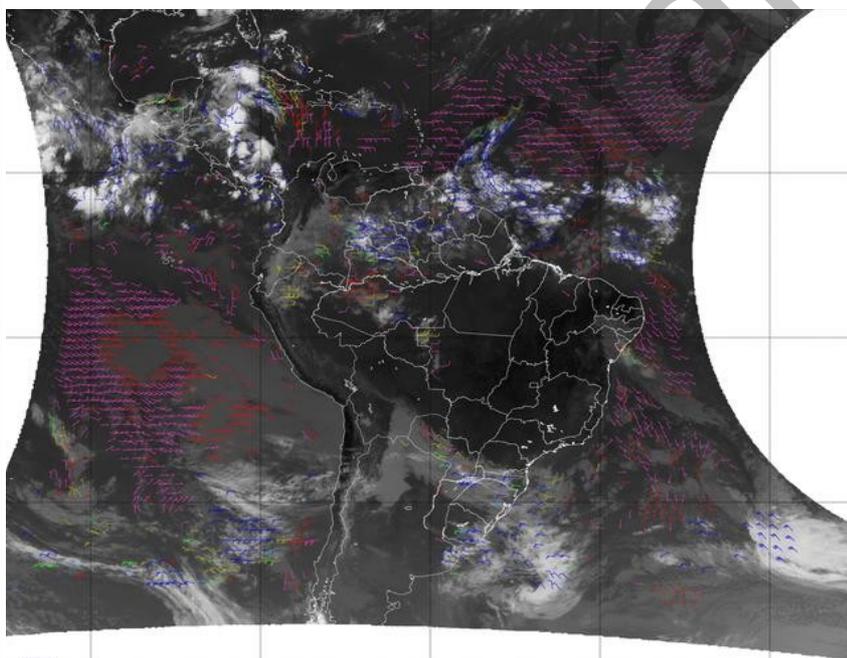


Figura 7: Exemplo de um campo de vento obtido a partir do canal  $10.2 \mu\text{m}$  (infravermelho janela) do satélite GOES-13

### **3.4 Radiossondagens**

A radiossonda é um aparelho transmissor de radio, de sensores de pressão, de temperatura e de umidade, que é lançado na atmosfera, transportado por um balão de borracha, inflado com gás. As radiossondas tem o alcance com cerca de 30 km de altitude, quando ocorre o rompimento das paredes do balão e o sistema cai em direção a superfície. Dessa forma tornando-se muitas vezes descartáveis, sendo utilizadas apenas uma única vez.

A mudança de pressão em altitude é feita conforme vão sendo identificadas as camadas a temperatura virtual, variando linearmente com a altura e composto a equação hipsométrica para cada uma delas, e assim vinculado a um microcomputador onde serão feitos uma serie de cálculos. Os dados aerológicos alcançados através de radiossondagens são usados para identificar as características dinâmicas e termodinâmicas da atmosfera. Com avanço tecnológico na área de informática tornou-se rotineiro proceder a análise de perfis aerológicos usando microcomputadores dotados do software apropriado.

A radiossonda refere-se em um tipo de sondagem das camadas superiores da atmosfera, constituído no interior de uma pequena caixa plástica lançada na superfície para atmosfera, por meio de um balão, formado por de sensores de temperatura, umidade de pressão, simultaneamente com um radiotransmissor e uma antena. As radiossondagens ainda são muito usadas embora existam outras técnicas como, balões cativos, balões livres, aviões e satélites.(VIANELLO, Rubens Leite. UFV, 2006.)

## **4. Comparação entre os campos de vento e radiossondagens**

Esta seção descreve os resultados preliminares da análise dos campos de vento realizada através da comparação com medidas de radiossondas.

Inicialmente, estava previsto que os campos estimados através dos canais visível e infravermelho próximo. Contudo, julgou-se mais interessante analisar primeiramente os campos estimados a partir dos canais infravermelho janela e do vapor d'água.

Os valores do Viés e do RMS não apresentaram grandes alterações no período de janeiro de 2011 até meados de 2014, quando algumas alterações nos métodos de estimativa da altura dos vetores foi aplicada. Esse sinal pode ser observado nas Figuras 8 e 9, indicados pela seta vermelha. Observe que a diminuição do RMS é mais pronunciada para os campos referentes ao canal do infravermelho janela (IR 10.2  $\mu\text{m}$ ) do que para o canal do vapor d'água (WV 6.7  $\mu\text{m}$ ). Essa maior diferença é explicada pelo fato de que a correção aplicada ao método de determinação da altura dos vetores corrigiu um erro mais frequente aos canais do IR. Contudo, para os meses de julho, agosto e setembro de 2015, o valor do RMS volta a ser próximo daqueles observados para os anos de 2011, 2012 e 2013. Tal fato ainda precisa ser mais explorado para obtermos uma explicação definitiva.

A cobertura espacial das radiossondas não permite avaliar estes modelos para as regiões oceânicas, que são grande parte da área em que o vento é estimado. Nesse sentido, estas estatísticas não

representam o *skill* do algoritmo de estimativa do vento para todas as situações possíveis.

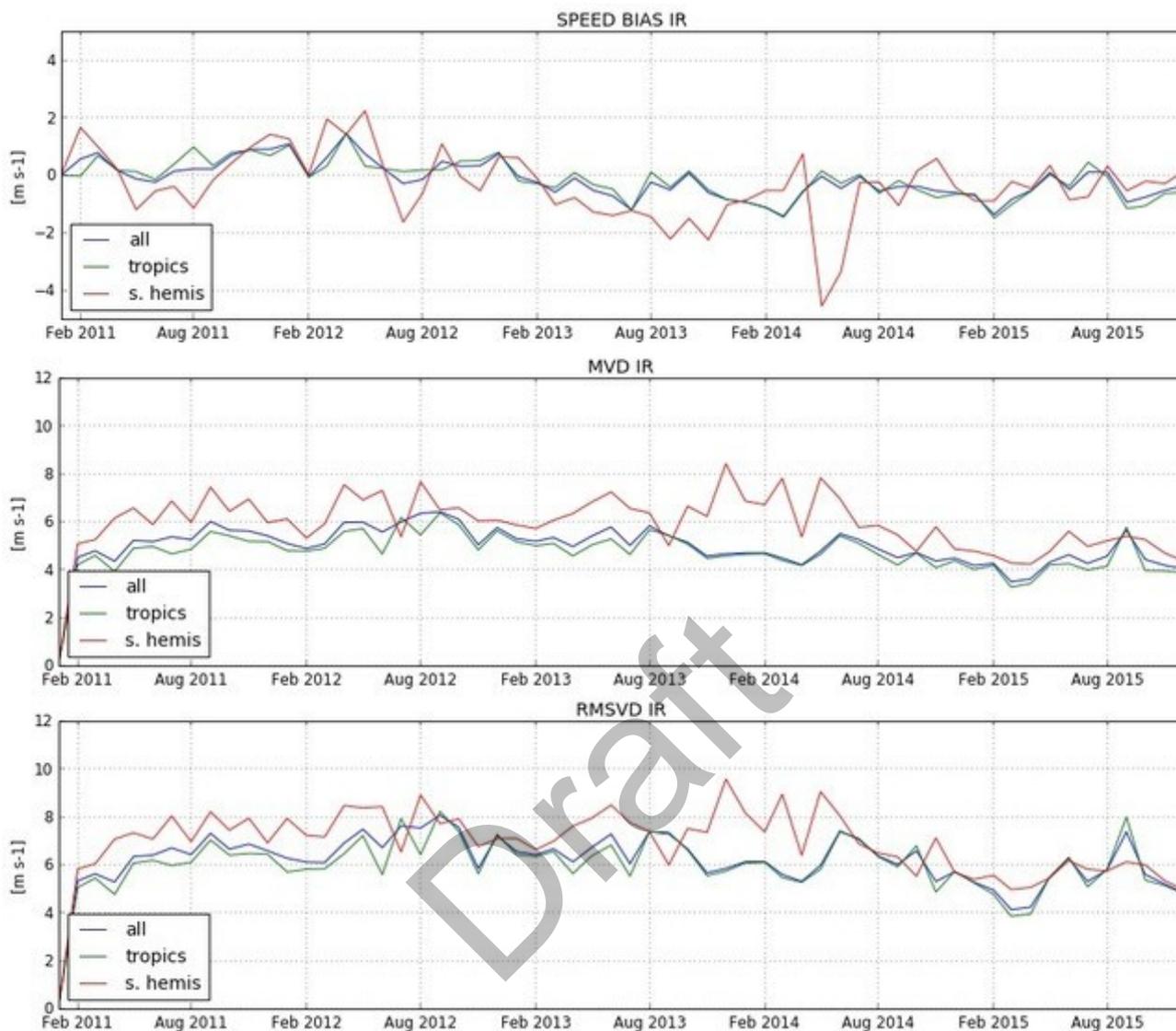


Figura 8: Comparação entre os campos de vento obtidos pelo canal do infravermelho janela e radiossondages.

A série histórica para os campos de vento obtidos a partir do canal do vapor d'água é apresentado na Figura.

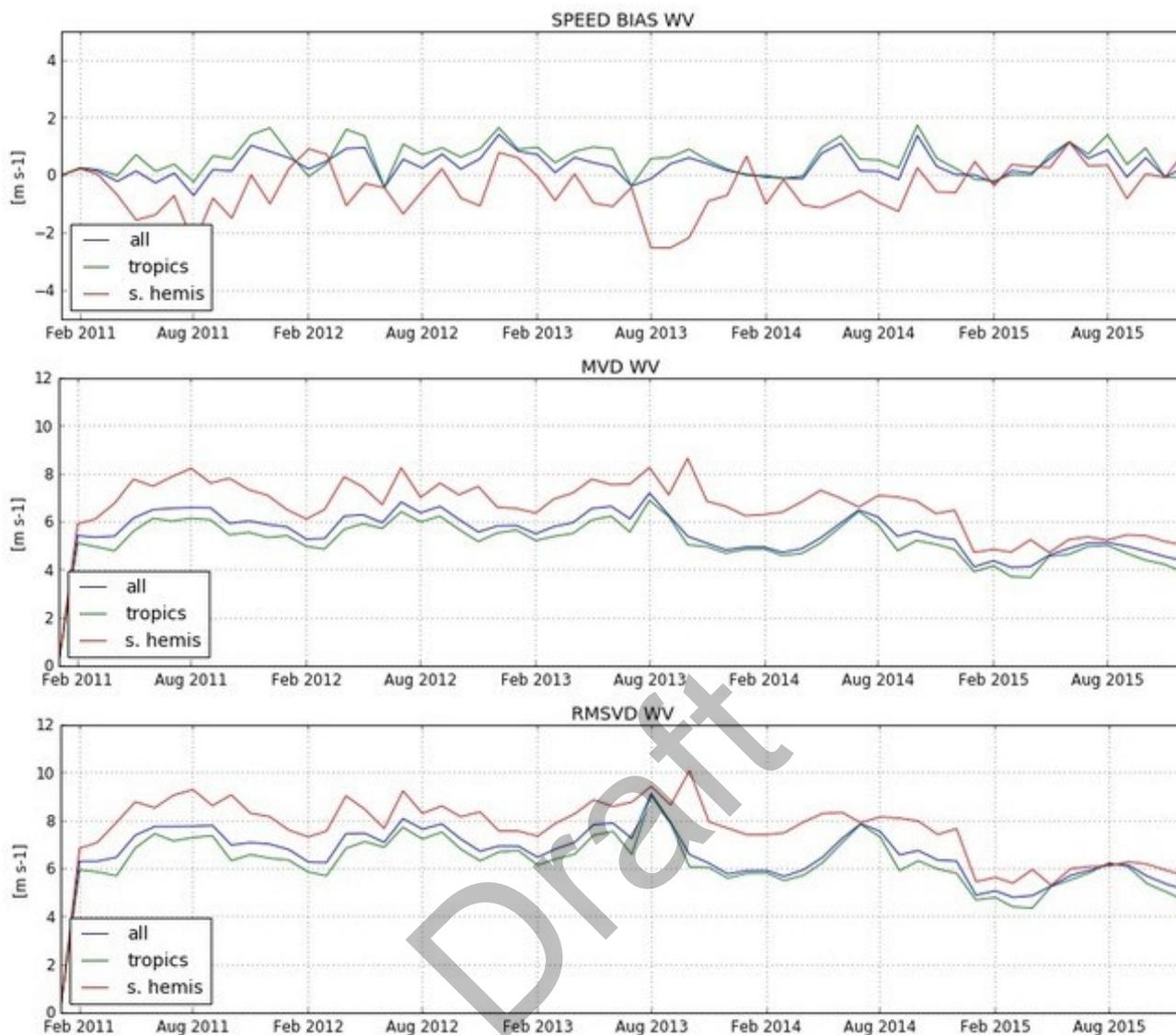


Figura 9: Comparação entre os campos de vento obtidos pelo canal do vapor d'água e radiossondages.

## 5. Considerações finais

Esse trabalho teve como objetivo analisar estatisticamente os campos de vento , gerados no CPTEC/INPE a partir de uma sequências de imagens dos canais visível, infravermelho próximo, vapor d'água e infravermelho janela do satélite geoestacionário GOES-13.

Foi feita uma análise a partir da comparação entre os campos de vento e de dados provenientes de radiossondagens. E assim dar o auxílio ao CPTEC/INPE a melhorar o impacto desses campos de vento, e identificar possíveis erros presentes nesses algoritmos que deverão ser reparados futuramente.

Através dos resultados apresentados podemos afirmar que os valores do Viés e do RMS não apresentaram grandes alterações no período de janeiro de 2011 até meados de 2014, quando algumas alterações nos métodos de estimativa da altura dos vetores foram aplicadas. O sinal pode ser observado nas Figuras 8 e 9, e pode ser observado que a diminuição do RMS é mais pronunciada para os campos referentes ao canal do infravermelho janela (IR 10.2  $\mu\text{m}$ ) do que para o canal do vapor d'água (WV 6.7  $\mu\text{m}$ ). A maior dessemelhança é explicada pelo fato de que a correção aplicada ao método de determinação da altura dos vetores corrigiu um erro mais frequente aos canais do IR. Todavia, para os meses de julho, agosto e setembro de 2015, o valor do RMS volta a ser próximo daqueles observados para os anos de 2011, 2012 e 2013, de fato ainda precisa ser mais explorado para obtermos uma explicação definitiva.

## Referências Bibliográficas

HUBERT, L. F. E.; Whitney, L. F. Jr. Wind geostationary-satellite pictures. Monthly Weather Review, v.99, n.9, p.665-671, 1971.

Laurent, H., Arai, N., Fomin, B., Machado, L. A. T., e Gondin, M. A., 2002: Extração do vento utilizando imagens de satélite no CPTEC: Nova versão e avaliação com dados do WETAMC/LBA e dados operacionais da DAS/CPTEC. Sixth International Winds Workshop

FUJITA, T. T.; WATANABE, K.; IZAWA, T. Formation and structure of equatorial anticyclones caused by large-scale cross-equatorial flows, derived by Ats-1 photographs. Journal of Applied Meteorology, v.8, p.649-667, 1969.

HUBERT, L. F. E.; Whitney, L. F. Jr. Wind geostationary-satellite pictures. Monthly Weather Review, v.99, n.9, p.665-671, 1971.

THOMAS, F. L.; JOSEPH T.; RICHARDSON K. Stratus and Fog Products Using GOES-8-9 3.9- $\mu\text{m}$  Data. Weather and Forecasting, v.12, p.664-667, 1997

LEESE, J. A.; NOVAK, C. S.; CLARK, B. B., 1971, An Automatic Technique for Obtaining Cloud Motion from Geostationary Satellite Data Using Cross Correlation. Journal of Applied Meteorology, 10, 118-132.

RADFORD, A. Monitoring of Cloud-Motion Winds at ECMWF. Proc. ECMWF/EUMETSAT Workshop: the Use of Satellite Data In Operational Numerical Weather Prediction: 1989- 1993, v.2, p.249-262, 1989.

Negri, Renato Galante, and Luiz Augusto Toledo Machado. "ESTIMATIVA DO VENTO PARA OS BAIXOS NÍVEIS UTILIZANDO IMAGENS DOS CANAIS VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO 3.9  $\mu\text{m}$ ." Revista Brasileira de Meteorologia 23.1 (2008): 206-219.

VIANELLO, Rubens Leite. **Meteorologia básica e aplicações**. UFV, 2006.

Draft